图书情报工作
第66卷 第7期 2022年4月

动态演化过程视角下技术融合生长点识别研究*

■ 李昌[1] 周锦锦[2] 杨中楷[1]

[1] 大连理工大学人文与社会科学学部 大连 116024 [2] 东北农业大学经济管理学院 哈尔滨 150006

摘 要：[目的/意义]提出一种从技术动态演化过程视角识别技术融合生长点的新方法，旨在识别具有生长潜力的技术融合领域。[方法/过程]首先提出演化路径的两种阶段，归纳技术融合生长点的演化路径；然后针对技术融合生长点的特点，总结显著属性特征，构建识别的指标体系；最后计算属性在演化路径上的变化，实现技术融合生长点的识别。[结果/结论]通过实验并与已有研究进行对比，认为该方法能有效识别技术融合生长点，并能追溯技术的起源与过程。

关键词：技术融合生长点 动态演化过程 属性特征 纳米医学
分类号：G306
DOI：10.13266/j.issn.0252-3116.2022.07.010

1 引言

随着技术变革和问题复杂性的加剧，依赖单一知识领域不足以解决复杂多变的技术问题[1-2]。技术融合通过不同领域之间的交叉渗透形成新技术[3]，提供丰富的技术解决方案[4]，是行业新创新的主要来源[5-6]，逐渐成为近现代科学技术发展的重要力量[7]。技术融合生长点是多个技术领域中有组合潜力的知识相互渗透、吸收、重组形成具有生长潜力的技术融合领域，体现未来融合技术的演进方向，可以为制定科学技术政策以及研究者把握技术创新机遇和进行有效的技术创新提供参考。因而如何在复杂繁多且彼此交织的技术中识别出技术融合生长点就显得尤为重要。

早期技术融合领域的识别研究，侧重于测度技术的融合程度[8]，随着时间的推移，大家越发关注未来技术的融合程度并进行了一系列研究[9]，识别过程主要包括链接关系测算和融合关系识别两步。前者以引文和IPC共现关系作为技术之间的链接。后者主要有三类，第一类是通过对链接关系设定阈值识别，例如设置锚点表征技术，利用专利与锚点相似性的阈值识别技术融合[10]；第二类是通过机器学习识别，训练出性能最好的机器学习模型，用于技术融合的识别[11]；第三类是设置指标，包括利用链接网络中的指标，例如中介中心性、度中心性[12]等，也有部分学者构建新指标，例如会聚指数[13]、会聚强度[14]以及熵和重力概念的综合指标[15]等。此外还有部分学者研究了技术融合的演化路径[16]。

当前研究具有启发性，但仍有以下局限：①缺少技术融合生长点的研究，忽略了具有生长潜力技术融合领域的识别；②技术融合的起源与过程难以追溯，部分研究比较规定时间段之间的技术生态网络[17]，不能清晰展示整个融合过程；③技术进化的本质是知识进化[18]，技术融合开始于微观知识的交叉融合[19]，但缺少从微观层次的识别研究；④忽略了不同领域间技术的影响与作用，当前研究侧重于识别IPC对之间的融合关系，忽略两种以上技术之间的融合关系判断，同时技术具有层次结构[20]，IPC因其含义固定可能无法对新出现的技术进行分类[21]，也不能依据具体需求灵活调节技术层次。

针对目前研究的不足，本研究提出一种从演化过程视角识别技术融合生长点的方法。首先，从知识流动视角总结技术融合生长点的演化路径，并区分其显著属性特征，为识别奠定理论基础；其次，利用主题模型识别技术领域，构建技术演化网络识别技术融合领域和演化路径，依据技术融合领域在演化路径上的属性变化识别技术融合生长点；最后，以纳米医学为例进行实证研究，验证本方法的可行性和有效性。

* 本文系国家社会科学基金重大项目“新形势下我国科技创新治理体系现代化研究”（项目编号：20&ZD074）研究成果之一。
作者简介：李昌，博士研究生；周锦锦，博士研究生；杨中楷，教授，博士，博士生导师，通信作者，E-mail：yandayang@163.com。
收稿日期：2021-11-02 修回日期：2022-01-15 本文起止页码：99-109 本文责任编辑：易飞

2 理论基础

2.1 技术融合生长点的演化路径

M. C. Roco 在总结"NBIC(Nanotechnology、Biotechnology、Information Technology、Cognitive Science)"的规律中提出"融合－分化"模型[22-23]，从知识层次阐述了技术融合的过程，认为技术融合开始于不同领域间知识的碰撞。另外波普尔的"世界三理论"[24]和赵红洲等[25]认为知识不断从原有的技术领域中游离而出，相互契合的知识相互碰撞并在全新的思维上进行重组产生新的知识[26]，也为技术融合生长点在知识层面构建演化路径及其识别提供了理论基础。

因此，本研究以"融合—分化"模型的框架为基础，从知识流动角度以及融合起点、融合过程和融合结果三部分论述技术融合领域的演化路径，具体如图1所示：

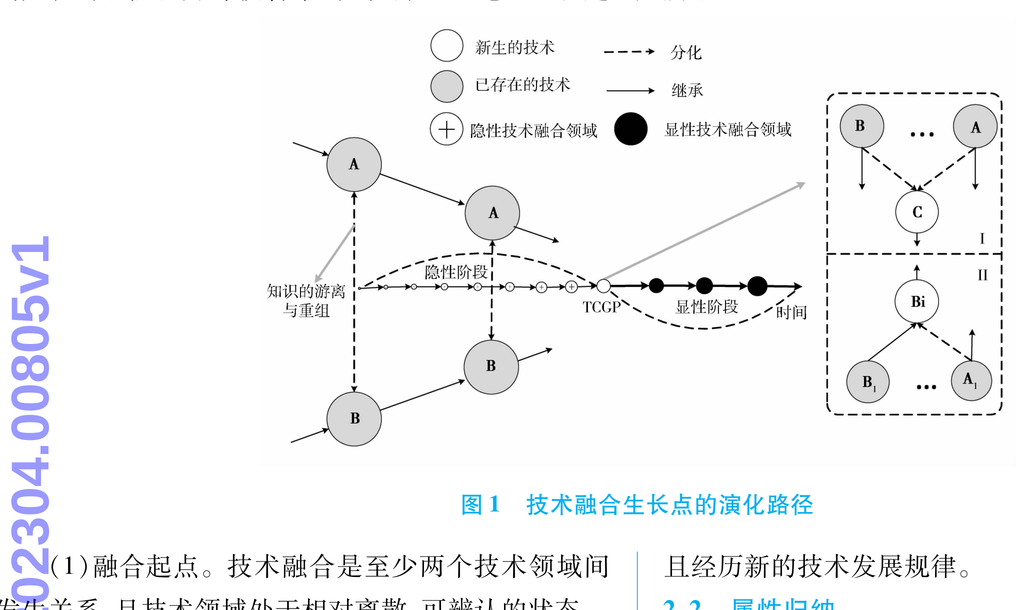


图1 技术融合生长点的演化路径

(1)融合起点。技术融合是至少两个技术领域间发生关系，且技术领域处于相对离散、可辨认的状态。

(2)融合中期。相关技术领域间的关系逐渐增强，知识在不断继承与变异中交叉融合，技术领域之间的相对距离不断变小，新知识不断积累，技术融合领域不断扩大。但此时技术融合领域因专利、科学文献等载体太少而没有形成一个清晰的技术领域，处于隐性阶段，难以被直接观测到。

知识从原有的技术中游离出，但在重组的位置上有两种情况[3]，即有两种新的技术融合领域产生方式：一是在新位置重组新知识，累积成新的技术领域，如图1中Ⅰ的技术A、B分离出的知识融合成新知识，并在新技术领域C中不断积累；二是在已有技术位置重组为新知识，丰富已有技术的内涵，如图1中Ⅱ的技术A游离出的知识融入到技术B中，与B中的知识融合产生新的知识并不断积累。

(3)融合结果。新知识积累到一定程度形成一个新技术领域或丰富原有技术的内涵。随着融合载体的不断增加，逐渐形成一个可被观测、显性的技术融合领域，首次观测到的技术融合领域可称为技术融合生成点(technology convergence generation points，TCGP)。技术融合领域处于不断深化发展的状态，具有发展潜力且经历新的技术发展规律。

2.2 属性归纳

技术融合是知识融合转化为创新潜力的过程[27]，本研究结合知识进化的特征以及技术进化论[28]对其融合方向、融合过程、融合趋势和融合阶段4个方面进行归纳，以理清技术融合生长点相对于其他技术的显著属性特征。

(1)融合方向。因知识的非排他性，知识进化具有继承的"遗传"性与变异的"发展"性特征，遗传是知识从上一代流动到下一代，变异是在原有知识基础上产生新知识。在技术融合的遗传和变异中，不同技术领域相互融合产生新知识，为解决新问题提供新方法。新知识要么方法先进和技术精尖，要么理论性强和知识水平高，一般处在发展的前沿领域，因此技术融合生长点具有前沿性的属性。

(2)融合过程。知识不断从原有的技术领域中游离而出进行交叉融合成新知识[29]。因此，交叉是融合的前提，技术融合生长点具有交叉性的属性。

在整个过程中，技术研发活动持续开展，使得技术在广度和深度上不断扩展，交叉融合形成的知识增长速度不断加快，具有高关注性属性。新知识联接其他知识，处于技术发展过程的关键环节或整个技术结构

体系的关键位置[30]，具有关键性的属性。

（3）融合阶段。依据“子系统不均衡进化法则”，一些技术已经形成清晰的技术融合领域，而有的因时间、现实条件等诸多原因，有效的记录载体较少，不能或很难被观测[29]。但技术会不断成长，在未来某个时间可能形成清晰可见的技术领域。因此，完整的融合阶段是“隐性阶段”与“显性阶段”的依次叠加。

（4）融合趋势。依据“技术系统的 S 曲线进化法则”，技术融合生长点需要时间进行成长，未来不断发展深化，不存在技术的衰退期，因此具有持续发展的属性。

技术融合生长点具有交叉性、高关注性、前沿性、关键性、持续发展性 5 个属性，同时技术融合生长点在不同的时间片段上应同时具备上述所有属性，且所有属性都是相对的概念，即在某一时间段内融合的技术与其他技术相比以上属性较为明显。

3　识别的方法框架

本研究主要利用属性在演化路径上的独特变化识别技术融合生长点。提出的识别流程如图 2 所示。识别首先是数据的收集与预处理，并划分数据的时间窗口；然后识别不同时间窗口下的技术，计算相邻时间窗内技术的继承和分化关系，构建技术演化网络；之后构建规则识别 TCGD，依据 TCGD 所在演化路径识别技术融合的演化路径和技术融合领域；最后依据技术融合领域在技术融合演化路径上的属性变化趋势识别技术融合生长点。以下针对主要内容做详细阐述。

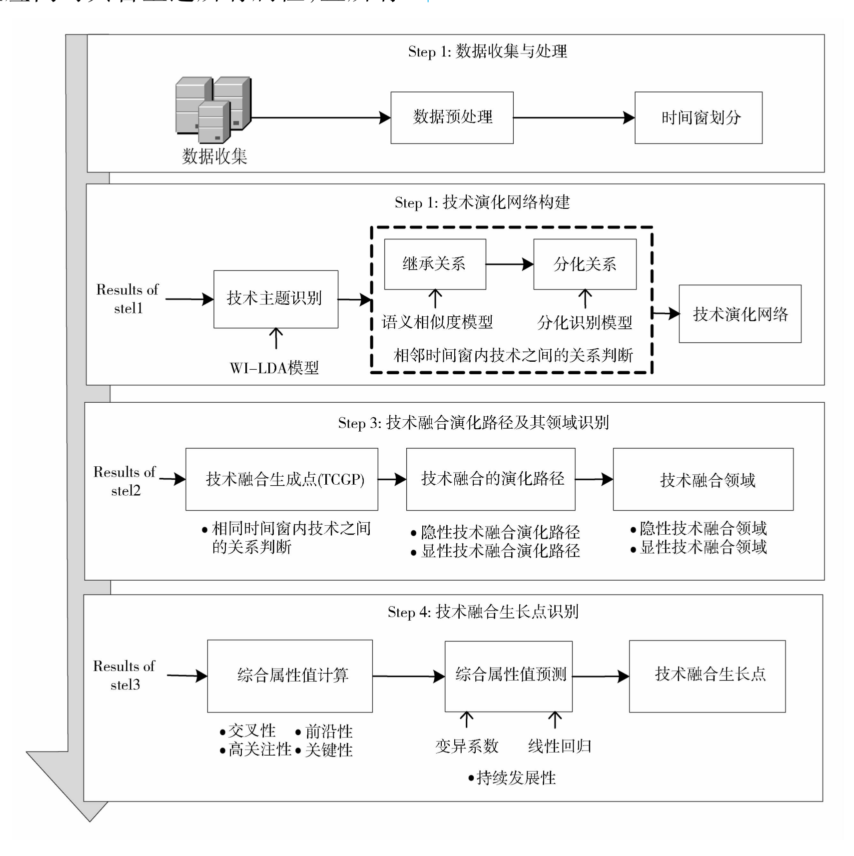


图 2　技术融合生长点的识别流程

3.1　技术演化网络构建

WI-LDA 能够有效降低同化主题辨识的难度，增加主题的可读性与解释性[31]，本研究利用“WI-LDA”主题模型识别不同时间窗内的技术，提出新的增强语义相似度模型和技术分化识别模型测算相邻时间窗内技术间的继承、分化关系，构建技术演化网络。

3.1.1　增强语义的相似度模型

技术之间的相似关系测算，主要利用“书目信息”[32]与“词法”[33]，前者依赖引文和专利 IPC 共现，但 IPC 共现无法完全反映技术融合情况[34]，引文具有滞后性[35]，且无法描述内容方面的关联[36]；后者用词在不同技术之间的流动量表征[37]，但单纯的词又缺少语义背景信息[38]。

因此，本研究结合专利的 IPC 与文本语义，提出增强语义的技术相似度模型测算技术之间的相似度。利用 WI 结构词进行余弦值相似度计算，兼顾技术词及

其语义背景(IPC),只有在相同背景下的词才具有相同的含义,以精确测算技术的相似度,具体公式如下:

$$\mathrm{sim}(v_{wix}, v_{wiy}) = \frac{\sum_{i=1}^{n}(wix_i \times wiy_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} wix_i^2 \times \sum_{i=1}^{n} wiy_i^2}}$$

公式(1)

其中 $v_x = (\mathrm{wix}_1, \mathrm{wix}_2 \cdots \mathrm{wix}_i)$ 与 $v_y = (\mathrm{wiy}_1, \mathrm{wiy}_2 \cdots \mathrm{wiy}_i)$ 是技术的词向量,wix 与 wiy 是词与词所处 IPC 背景相结合的组合形式。

3.1.2 技术分化识别模型构建

技术分化是上一时期技术中的部分知识扩散到下个时期的其他技术之中,继承是相同技术在不同时间段下的知识的流动。如图 3 所示:Ai 分别是 A、B 的继承和分化技术,它们相同的知识元素分别是“1,2,4”和“4,5”,因 Ai 中的“4”是继承于 A,即 Ai 在 t 时间段 4 已经存在,所以从 B 传播到 Ai 中的知识元素为“5”。因此在计算技术分化时需要去掉继承的知识,对此提出技术分化识别模型。

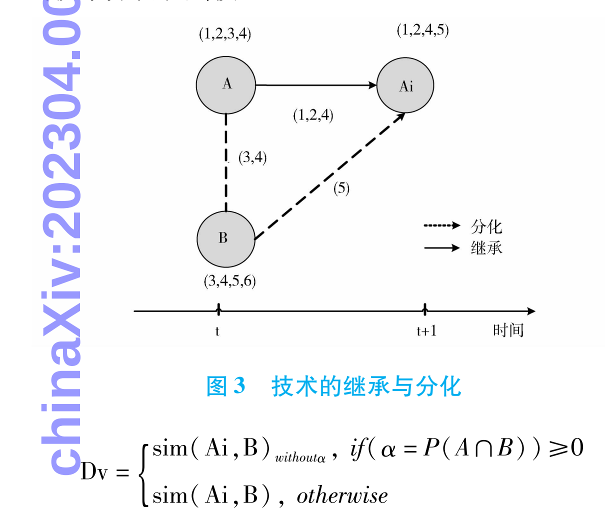


图 3 技术的继承与分化

$$\mathrm{Dv} = \begin{cases} \mathrm{sim}(\mathrm{Ai}, \mathrm{B})_{without\alpha}, & if(\alpha = P(A \cap B)) \geq 0 \\ \mathrm{sim}(\mathrm{Ai}, \mathrm{B}), & otherwise \end{cases}$$

公式(2)

式中 Dv 是技术分化的程度,相似度模型是 3.1.1 提出的增强语义的相似度模型。

3.2 技术融合演化路径及其领域识别

测算同一时期技术之间的融合关系强度,结合技术融合领域的产生方式识别 TCGD,TCGD 所在的演化路径为技术融合的演化路径,演化路径上不同时间点的技术领域为技术融合领域。其中技术的语义相似性是确定融合证据的关键[39],不同技术之间语义相似性提高可被视为融合过程的指标[10],本研究利用增强语义的相似度来判断技术融合关系的强度。

3.2.1 TCGP 识别

识别 TCGP 需要满足 2 个条件:①在 TCGP 形成之前,两个及以上技术之间的相似度随时间不断增大;②符合 TCGP 的产生方式并不断被继承至今。只有同时符合上述条件才判定该技术为 TCGP。

3.2.2 技术融合领域识别

在同一个技术融合演化路径上,以 TCGP 为分界线,在分界线之前为隐性技术融合领域,之后为显性技术融合领域。其中显性技术融合领域利用技术主题表示,隐性技术融合领域因载体过少没有形成一个清晰的技术领域,本研究利用代表该技术的技术词表示。

其中技术词是在同一演化路径中上一时期到下一时期过程中知识相互融合形成的新知识,是上一时期没有的词或具有不同技术背景的词,具体的识别方法如表 1 所示:

表 1 融合知识识别

对比对象		结果
相同技术背景	相同词	已存在的知识
	不同词	技术融合产生的知识
不同技术背景	相同词	技术融合产生的知识
	不同词	技术融合产生的知识

3.3 技术融合生长点识别

本研究通过测算技术融合演化路径上技术融合领域的交叉性、高关注性、前沿性和关键性属性值变化,并通过持续发展性识别未来具有发展潜力的技术融合领域为技术融合生长点,同时为了便于对比观察,把技术的属性指标与所在时间阶段内所有技术属性指标的均值进行比较,形成属性指标指数。依据持续发展性对上述 4 个属性构建的属性综合值进行拟合预测,呈现上升趋势说明该技术的属性越发明显,是技术融合生长点的可能性就越大。

3.3.1 交融性指数

文本属于技术的概率指文本所属主题是该技术的可能性大小,特定时间窗内所有文本对技术的概率值越大说明技术涉及的主题可能就越多,研究范围就越广,交叉融合的程度可能就越大。

$$B_k = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_k^d / n}{\sum_{i=1}^{k}\left(\sum_{i=1}^{n} p_k^d / n\right) / k}$$

公式(3)

式中,B_k 表示交融性指数值,值越大交融性越强;p_k^d 和 n 分别表示特定时间窗内第 d 篇文本对技术领域(k)中的概率与所有的文本数量。

3.3.2 关键性指数

主要利用中介中心性和度中心性计算,前者测算技术在整个技术体系中发挥中介作用的大小,取值越大其控制技术之间信息交流的能力就越强;后者是度

量技术在网络中的作用大小,值越高意味着技术在网络中的作用越重要。

$$Cr_k = \frac{1}{2}\left(\frac{bc_k}{\sum_{i=1}^{k} bc_k/k} + \frac{dc_k}{\sum_{i=1}^{k} dc_k/k}\right) \quad 公式(4)$$

式中,Cr_k 表示关键性指数值,值越大关键性越强;bc_k 和 dc_k 分别表示表示技术域(k)的度中心性和中介中心性。

3.3.3 高关注性指数

高关注性主要是人们对该技术的研究程度,专利数量[40]、IPC 类别和数量越多说明研究力度越大,受到人们关注的可能就越高。

$$D_k = \frac{1}{2}\left(\frac{p_k^n}{\sum_{i=1}^{k} p_k^n/k} + \frac{\sum_{i=1}^{n} cl_k^i/n}{\sum_{i=1}^{k}(\sum_{i=1}^{n} cl_k^i/n)/k}\right) \quad 公式(5)$$

式中,D_k 表示高关注指数值,值越大关注性越大;p_k^n 和 cl_k^i 分别表示技术域(k)下的专利数量、IPC 类别和数量的增长率。

3.3.4 前沿性指数

前沿性主要侧重该领域研究成果的知识水平。被引越大,技术被参考和借鉴就越多[41],知识水平可能就越高。

$$Ce_k = \frac{\sum_{i=1}^{n} c_k^i/n}{\sum_{i=1}^{k}(\sum_{i=1}^{n} c_k^i/n)/k} \quad 公式(6)$$

式中,Ce_k 表示前沿性指数值,值越大前沿性越大;c_k^i 表示技术点(k)内文本(i)的被引数量(c),n 为文本数量。

3.3.5 持续发展性指数

本研究计算的数据是时间序列数据,因此利用回归模型对上述 4 个属性进行拟合、预测,满足上述属性基础上并且整体呈现成长趋势时判定为技术融合生长点。为了便于观察,在拟合之前综合上述 4 个属性值形成综合属性值,权重利用变异系数法进行确定以减少人工的干预。

4 实证分析

4.1 数据获取与预处理

本研究利用纳米医学领域中不同技术之间的融合关系来验证方法的可行性。以德温特数据库为数据源,首先在文献调研与专家知识基础上,确定检索式为"TS = (nano * and (medicine * or drug *))",检索日期为 2021 年 4 月 8 日,检索的时间跨度为 2021 年之前,剔除重复和不符合规范专利后检索结果为 33 217 件。在时间窗划分上,因 2000 年之前的数据较少,将其单独划分为一个时间窗,其余依据专利数量结合固定时间窗的方法每两年划分为一个时间窗。一共 10 个时间窗,每个时间窗下的专利数量分别为:584、1 945、2 067、2 159、2 740、3 229、3 773、4 846、6 224、5 131。

之后对检索的数据集进行预处理,将获取的发明名称与摘要进行合并、分词、名词提取和停用词去除,并经过试验选择 IPC 小组作为语义背景。

4.2 技术融合生长点识别过程

4.2.1 技术演化网络构建

首先利用肘拐点法确定最优主题数(k),利用算法计算集群内所有数据点与中心距离的误差平方总和(SSE),一般选取畸变程度最大点。通过计算得到 10 个时间窗的最优主题数为 3、5、8、11、12、13、15、17、23、25,设置 WI-LDA 主题模型的具体参数为:alpha (document-topic associations) = 50/K, beta (topic-term associations) = 0.1, 迭代 2 000 次。

利用增强语义的相似度模型和技术分化识别模型计算相邻技术之间的继承与分化关系。经过讨论和实验测试,发现判断继承的最小相似度值为 0.5 时效果较好。得到技术演化网络见图 4。

4.2.2 技术融合的演化路径及其领域识别

依据语义相似度公式测算相同时间窗下两个及以上技术之间的相似度大小,发现 3T3 和 6T9 随时间流动相似度不断增加,且符合 TCGP 的形成方式并不断继承至今,识别出 3T3 和 6T9 为 TCGP。同时 3T3 和 6T9 所在演化路径上的技术融合符合显性技术融合特征,分别设为技术 A 和技术 B,具体见图 5。

技术 A 与技术 B 随时间变化相似度不断增大,两技术交叉融合,此时技术还没有形成一个清晰的技术领域,符合隐性技术融合领域特征,设此技术融合领域为技术 AB,其所在的演化路径为隐性技术融合演化路径。最后识别的技术融合的演化路径见表 2。

4.2.3 技术融合生长点识别

测算技术 A、技术 B 和技术 AB 在演化路径上的交融性、关键性、高关注性和前沿性,并利用变异系数法为 4 个属性指数值进行赋权得到一个综合属性值,计算结果见表 3。

在进行持续性指标计算时,为验证拟合方法的可行性,利用前 9 段时间(T1 – T9)进行回归拟合,其中 2017 – 2018(T9)时间往后是预测。结果如图 6 所示,技术 B 和 AB 的 R^2 都达到了 0.95 以上,A 最低为 0.769 9,

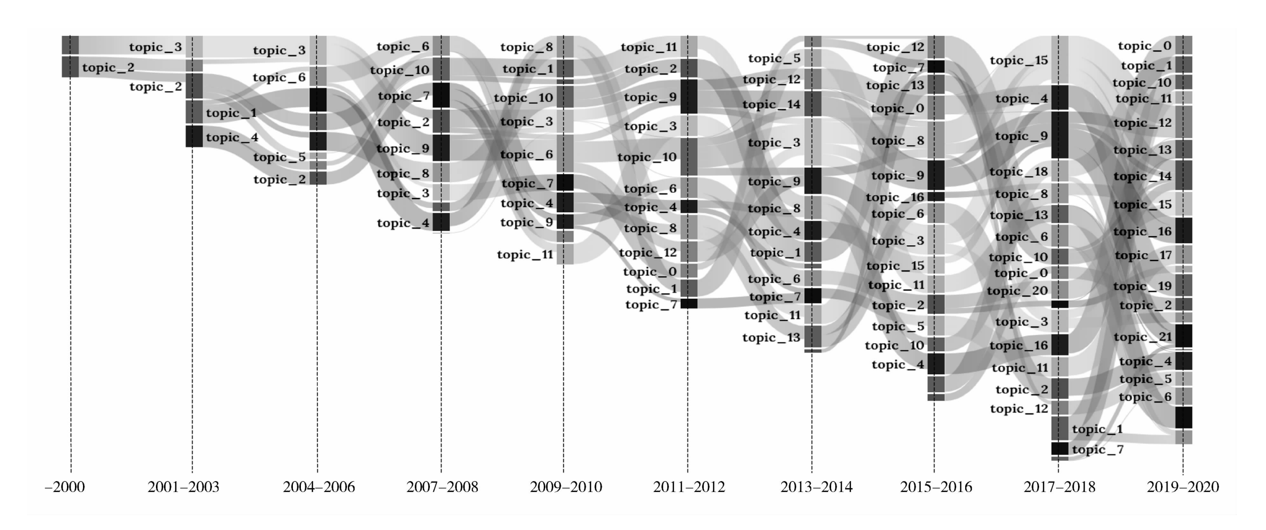


图 4　技术演化网络

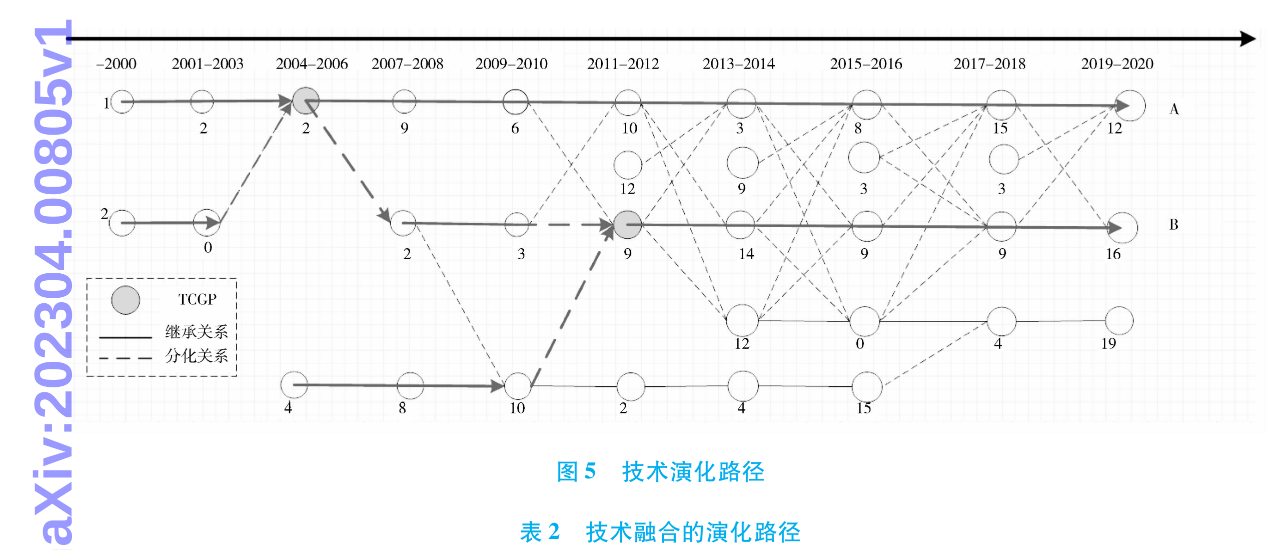


图 5　技术演化路径

表 2　技术融合的演化路径

技术	演化路径（隐性阶段）	技术融合领域相似度变化（隐性阶段）	TCGP	演化路径(显性阶段)
A	(1T1,1T2)→(2T0,2T3)	0.078→0.098	3T3	3T3→4T9→5T6→6T10→7T3→8T8→9T15
B	(3T3,3T4)→(4T2,4T8,4T9)→(5T3,5T6, 5T10)	0.039→0.118→0.143	6T9	6T9→7T4→8T9→9T9
AB	(3T3,3T4)→(4T2,4T8, 4T9)→(5T3,5T6,5T10)→(6T9,6T10)→(7T3,7T14)→(8T8,8T9)→(9T15, 9T19)	0.137→0.255→0.275→0.255→0.278→0.333	-	-

曲线拟合总体较好。利用拟合的回归预测结果与 2019－2020 年实际值的差距较小。无论是拟合曲线的直观形状、参数值的严密程度还是对未来预测的验证，都说明拟合结果是科学有效的。

依据趋势变化，技术 B 增长的趋势明显，预测在未来很长一段时间内呈现持续增长的态势；AB 的趋势比较缓和，在未来几年可能处于缓慢增长阶段，依据技术融合生长点的持续发展性特征，识别出技术 B 与技术 AB 为技术融合生长点。

4.3　结果分析

依据技术融合生长的演化路径和不同时间下的技术词判断技术具体研究内容与演化关系，具体的代表性技术词见表 4。

技术 B 为干细胞纳米技术，即利用纳米粒子标记和促使干细胞生产的技术。在 2004－2010 年处在潜在阶段，主要涉及纳米材料的成像。在 2011－2012 年，首次形成一个清晰的技术领域 6T9，集中在利用信号去追踪干细胞。在 2015－2018 年与技术 A 关系密切，与其他技术基本没有交集，内容主要是诱导干细胞的产生和提高干细胞产生效率的研究。在 2019－2020 年研究的重点转向癌症的预防、评估治疗效果以及安全上。

表 3　属性指数计算结果

技术	属性	属性权重	－2000 年	2001－2003 年	2004－2006 年	2007－2008 年	2009－2010 年	2011－2012 年	2013－2014 年	2015－2016 年	2017－2018 年	2019－2020 年
A	交叉性	0.052	0.978	1.105	1.243	1.149	1.223	1.165	1.128	1.066	1.079	1.038
	前沿性	0.273	0.474	0.155	0.722	0.620	0.409	0.306	0.299	0.486	0.675	0.572
	高关注性	0.281	1.238	0.756	0.828	0.557	0.780	0.725	0.207	0.447	0.914	1.076
	关键性	0.394	0.667	1.000	1.500	3.563	3.126	1.400	1.455	1.732	1.803	0.798
	综合属性值		0.793	0.759	1.135	1.935	1.760	1.560	1.664	1.470	1.263	0.838
B	交叉性	0.160			0.669	0.837	0.903	0.969	1.007	0.996	1.049	1.004
	前沿性	0.212			1.134	1.117	1.105	1.117	0.924	0.853	1.028	0.634
	高关注性	0.222			1.714	1.047	1.249	1.338	1.158	1.145	1.007	1.085
	关键性	0.405			1.500	0.563	0.818	1.400	1.455	1.821	1.803	1.148
	综合属性值				0.699	0.832	0.998	1.440	1.819	2.018	2.029	1.402
AB	交叉性	0.060			0.669	0.837	0.903	0.879	0.896	0.933	0.977	0.866
	前沿性	0.190			1.134	1.117	1.105	1.630	2.191	1.120	1.042	0.875
	高关注性	0.241			1.714	1.047	1.249	1.540	0.332	0.626	0.958	1.037
	关键性	0.509			1.500	0.563	0.818	1.400	0.364	3.500	3.367	0.148
	综合属性值				0.699	0.832	0.998	1.282	1.221	1.361	1.406	2.203

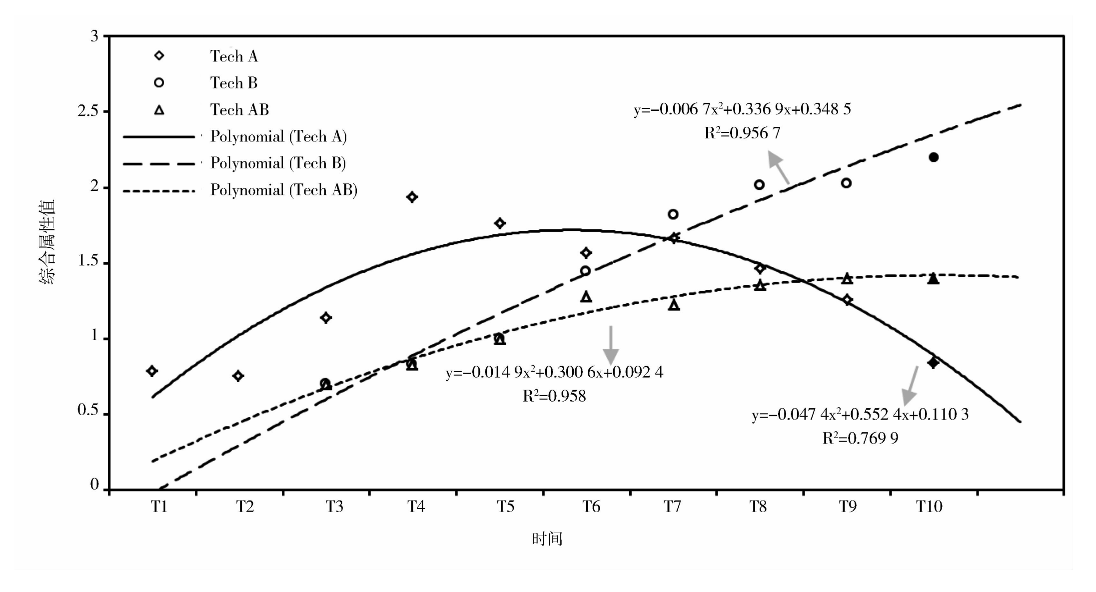


图 6　综合属性值的拟合与预测

表 4　不同时间窗下技术 B 和技术 AB 的代表性技术词

时间/年	技术 B	技术 AB
2004－2006	image, nanoparticle, label, signal, acid, material	
2007－2008		
2009－2010		
2011－2012	stem, label, solution, signal, track, system	nanoparticle, gold, nano-silver, agent, contrast, imaging
2013－2014	guide, method, solution, therapy, cell, treatment	carbon, nanocluster, therapy, imaging, composition, carrier
2015－2016	induce, generation, carrier, nucleic, acid, treatment	therapy, image, reaction, carbon, nanoparticle, delivery
2017－2018	polymer, copolymer, efficiency, cancer, tumor, medicine	effect, secure, preparation, detection, material, form
2019－2020	polymer, tumor, effect, application, cancer, secure	preparation, cell, material, imaging, stability, composition

技术 AB 为多功能纳米材料，即包含诊断、输送、治疗、安全等功能的纳米颗粒。而且整体上看，从 2009 –2010 年开始技术 B 一直与技术 A（纳米癌治疗技术）之间关系密切，内容相似程度越来越高，交融程度不断加深，使得纳米颗粒愈加偏向于癌症治疗，双方关系的加强也形成了技术 AB。在内容演化上，2004 – 2010 年主要涉及纳米材料的成像功能。在 2011 – 2012 年间，涉及一些颗粒的开发，例如金纳米颗粒、银纳米颗粒等。2013 – 2016 年间，纳米材料的治疗功能不断加强，同时纳米颗粒的类别在增加，例如碳纳米颗粒和金纳米簇。在 2017 – 2020 年间，在上述基础上更强调安全功能，制备相关研究也开始出现。

4.4 结果验证

从"识别结果的正确性"和"提出方法的优势"两个角度对识别方法进行验证，说明本研究提出方法的可行性。

4.4.1 识别结果的正确性

对"发展状态与趋势"和"研究内容"是否与实际情况一致进行判断。

基于 WoS 核心集数据库，检索干细胞纳米技术与多功能纳米材料技术的科学文献进行验证。检索式分别为"TS = ("stem cell" and "nano")"与"TS = (Nanoparticle * AND (therapy * OR treatment *) AND (carrier * OR delivery *) AND (secure * or safe *) AND (signal * OR labeled * OR track *))"，时间跨度为"2021 年之前"，检索日期为 2021 年 4 月 31 日，通过检索得到的结果分别为 3 500 条与 938 条。从而得到技术 B 与技术 AB 文献数量的变化趋势，如图 7 所示：

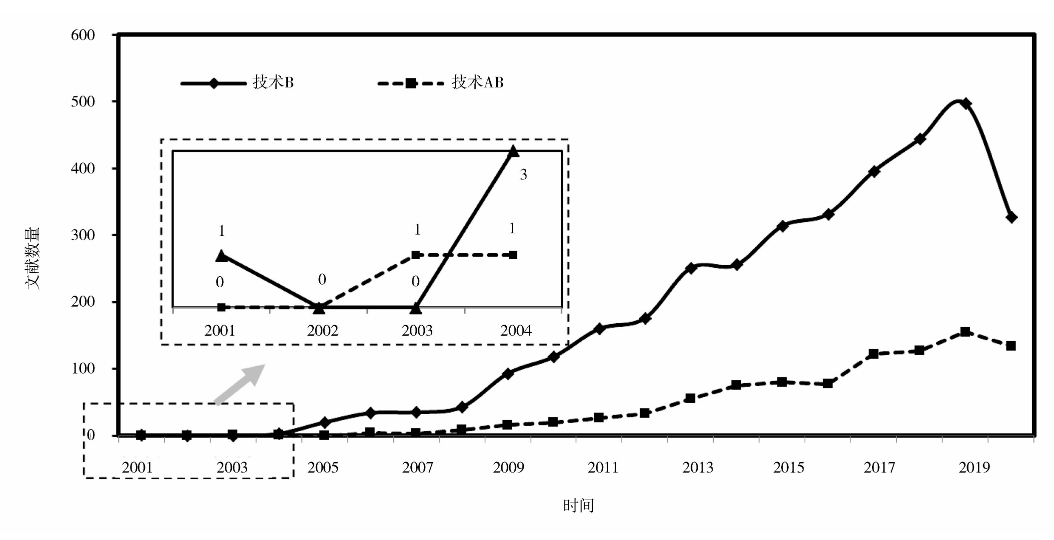


图 7　技术融合生长点的文献数量变化趋势

从图 7 中可以看出，干细胞纳米技术的文献在 2001 年第一次出现，2004 年之后连续不断出现，此时干细胞纳米技术正在蕴育期，正好与本研究识别的干细胞纳米技术的 TCGP 出现相契合，2008 年之后一直处于较快速的增长阶段，推断以后也会有较快速的增长，未来的趋势与识别的趋势基本相同。多功能纳米材料的文献在 2003 年第一篇文献出现，与技术 AB 在 2004 – 2006 阶段出现基本吻合，2006 年之后进入缓慢增长期，推断未来仍处于缓慢增长阶段。识别的技术在出现时间、整体变化状态和趋势上与现状基本吻合。结合检索到的期刊文献，发现干细胞纳米技术作为新兴的交叉技术，在疾病治疗和再生医学应用领域具有潜力；在药物输送、抗生素耐药性、成像、诊断和癌症治疗领域，新的多功能纳米颗粒正在出现[42]，具体内容与现实基本相符。

4.4.2 提出方法的优势

将本研究与已有文献[10]中的识别对象、识别方法和识别结果进行对比研究，结果见表 5。

综上分析，本研究提出的方法在"识别结果的正确性"和"提出方法的优势"两个方面都具有较好的效果，表明该方法具有可行性和正确性。

5 结论与展望

本研究提出了一种动态演化过程视角下技术融合生长点识别方法。首先，总结了技术融合生长点的演化路径和属性特征；然后，利用主题模型结合增强语义的相似度模型和技术分化识别模型构建技术演化网络；其次，在技术演化网络中识别技术融合领域及其演

表 5　已有文献与本研究的对比

对比类别	对比结果		
	已有文献	已有研究不足	本研究
识别对象	技术未来融合的可能性	忽略了识别和预测具有生长潜力的技术融合领域	进行了有益补充
识别方法	将文本信息、语义信息和链接信息作为指标	指标与识别目标的关系比较模糊	在总结识别目标属性基础上给出,指标与识别目标之间关系清晰
	机器学习算法	技术门槛相对较高,计算成本大,过程也不具有观测性	计算属性在动态演化路径上的变化,过程易于理解和观察,计算难度适中;同时提出语义相似度模型和分化识别模型
识别结果	IPC 对	仅展示 IPC 对之间融合的可能性,忽略了三个及以上技术之间融合的情况	利用主题模型识别出技术主题,可以识别两个及以上技术之间的融合关系

化路径,预测演化路径上技术融合领域的综合属性值识别技术融合生长点;最后,利用纳米医学专利对提出的方法进行了验证,并与已有的文献进行对比,发现本文方法可以准确识别技术融合生长点,并能展现技术融合生长点的起源与过程。

本研究的贡献有三点:第一,在研究视角上,据我们所知此研究是最早尝试技术融合生长点的研究,聚焦于识别具有生长潜力的技术融合领域。第二,在理论上,从知识流动角度总结了技术融合生长点的显著属性以及演化路径,并把演化路径分为隐性阶段和显性阶段,能为后续相关研究提供理论基础。第三,在方法上:①提供了一种识别技术融合生长点的方法框架,能为后续研究提供方法支撑;②针对专利数据提出新的语义相似度模型和技术分化识别模型,丰富了技术演化的相关研究;③提出的技术演化路径识别方法能追溯技术融合领域的起源与过程,并清晰展示技术融合的"隐性阶段"和"显性阶段"。

尽管有上述贡献,本研究仍有一些局限:具体的属性计算指标是在借鉴已有文献基础上总结而来,但任何指标都有偏差,如何依据简单有效的方法选择最优的指标,不论是对技术融合领域的研究还是其他涉及指标的研究都具有重要意义。演化关系的阈值与"时间窗口长短"以及"不同领域"有关,需要分析师的主观性和可靠性。技术发展同样受相关政策等外部环境的驱动,技术融合可能在短时间内发生技术跃迁,以后可以针对跃迁型融合技术进行研究。

参考文献:

[1] HACKLIN F, BATTISTINI B, KROGH G. Strategic choices in converging industries[J]. MIT sloan management review, 2013, 55(1): 65-73.
[2] JEONG S, LEE S. What drives technology convergence? exploring the influence of technological and resource allocation contexts[J]. Journal of engineering and technology management, 2015, 36(2): 78-96.
[3] CURRAN C. The anticipation of converging industries[M]. London: Springer, 2013.
[4] ROCO M C, BAINBRIDGE W S. The new world of discovery, invention, and innovation: convergence of knowledge, technology, and society[J]. Journal of nanoparticle research, 2013, 15(9): 1946-1963.
[5] CURRAN C, LEKER J. Patent indicators for monitoring convergence-examples from NFF and ICT[J]. Technological forecasting and social change, 2011, 78(2): 256-273.
[6] KARVONEN M, KÄSSI T. Patent citations as a tool for analyzing the early stages of convergence[J]. Technological forecasting and social change, 2013, 80(6): 1094-1107.
[7] GATES A J, KE Q, VAROL O, et al. Nature's reach: narrow work has broad impact[J]. Nature, 2019, 575(7781): 32-34.
[8] MOON S, KIM. On a patent analysis method for technological convergence[J]. Procedia social & behavioral sciences, 2012, 40(40): 657-663.
[9] SONG C H, ELVERS D, LEKER J. Anticipation of converging technology areas-a refined approach for the identification of attractive fields of innovation[J]. Technological forecasting & social change, 2017, 116(3): 98-115.
[10] EILERS K, FRISCHKOM J, EPPINGER E, et al. Patent-based semantic measurement of one-way and two-way technology convergence: the case of ultraviolet light emitting diodes (UV-LEDs)-ScienceDirect[J]. Technological forecasting and social change, 2019, 140(3): 341-353.
[11] KIM T S, SOHN S Y. Machine-learning-based deep semantic analysis approach for forecasting new technology convergence[J]. Technological forecasting and social change, 2020, 157: 120095.
[12] PARK H, YOON J. Assessing coreness and intermediarity of technology sectors using patent co-classification analysis: the case of korean national R&D[J]. Scientometrics, 2014, 98(2): 853-890.
[13] 栾春娟,覃雪,黄福. 技术大类之间会聚指数测度的理论与方法[J]. 科技管理研究, 2016, 36(8): 188-193.
[14] 李姝影,方曙. 测度技术融合与趋势的数据分析方法研究进展

[J]. 数据分析与知识发现, 2017, 1(7): 2 – 12.
[15] YONGRAE C, MINSUNG K, Wolfgang G. Entropy and gravity concepts as new methodological indexes to investigate technological convergence: patent network-based approach[J]. Plos one, 2014, 9(6):e98009.
[16] 冯科,曾德明,周昕. 技术融合的动态演化路径[J]. 科学学研究,2019,37(6):986 – 995.
[17] LEE C, HONG S, KIM J. Anticipating multi-technology convergence: a machine learning approach using patent information[J]. Scientometrics, 2021, 126(3): 1867 – 1896.
[18] XU H, WINNINK J, YUE Z, et al. Topic-linked innovation paths in science and technology[J]. Journal of informetrics, 2020, 14(2): 101014.
[19] DAHLIN K B, BEHRENS D M. When is an invention really radical? [J]. Research policy,2005, 34(5): 717 – 737.
[20] 阿瑟. 技术的本质:技术是什么,它是如何进化的[M]. 曹东溟,王健,译. 杭州:浙江人民出版社,2014:329 – 344.
[21] CAVIGGIOLI F. Technology fusion: Identification and analysis of the drivers of technology convergence using patent data[J]. Technovation, 2016, 55/56: 22 – 32.
[22] ROCO M C. Coherence and divergence of megatrends in science and engineering[J]. Journal of nanoparticle research, 2002, 4(1): 9 – 19.
[23] BAINBRIDGE W S, ROCO M C. Science and technology convergence: with emphasis for nanotechnology-inspired convergence [J]. Journal of nanoparticle research,2016, 18(7):211 – 230.
[24] HACKLIN F. Management of convergence in innovation[J]. Contributions to management science, 2007, 2010(42):1014 – 1021.
[25] 赵红洲,蒋国华. 知识单元与指数规律[J]. 科学学与科学技术管理, 1984(9): 39 – 41.
[26] 刘则渊. 知识图谱的若干问题思考[R]. 大连: 大连理工大学 WISE 实验室,2010.
[27] HACKLIN F, MARXT C, FAHRNI F. Coevolutionary cycles of convergence: an extrapolation from the ICT industry[J]. Technological forecasting & social change, 2009, 76(6):723 – 736.
[28] PORTER M E, STERN S. Measuring the "Ideas" production function: evidence from international patent output[J]. Nber working papers series, 2000,9(3):47 – 57.
[29] ZHOU Y, DONG F, KONG D, et al. Unfolding the convergence process of scientific knowledge for the early identification of emerging technologies[J]. Technological forecasting and social change, 2019, 144(7): 205 – 220.
[30] 李长玲,高峰,牌艳欣. 试论跨学科潜在知识生长点及其识别方法[J]. 科学学研究,2021,39(6):1007 – 1014.
[31] 吴红,伊惠芳,马永新,等. 面向专利技术主题分析的 WI-LDA 模型研究[J]. 图书情报工作,2018, 62(17): 68 – 74.
[32] RODRIGUEZ A, KIM B, TURKOZ M, et al. New multi-stage similarity measure for calculation of pairwise patent similarity in a patent citation network[J]. Scientometrics,2015, 103(2): 565 – 581.
[33] MOEHRLE M G, PASSING F. Applying an anchor based patent mapping approach: basic conception and the case of carbon fiber reinforcements[J]. World patent information, 2016, 45(1): 1 – 9.
[34] PASSING F, MOEHRLE M G. Measuring technological convergence in the field of smart grids: a semantic patent analysis approach using textual corpora of technologies[C] // 2015 Portland international conference on management of engineering and technology. Portland: IEEE, 2015.
[35] RODRIGUEZ A, KIM B, TURKOZ M, et al. New multi-stage similarity measure for calculation of pairwise patent similarity in a patent citation network[J]. Scientometrics,2015, 103(2): 565 – 581.
[36] MILANEZ D H, FARIA L I L D, AMARAL R M D, et al. Claim-based patent indicators: a novel approach to analyze patent content and monitor technological advances[J]. World patent information, 2017, 50(9): 64 – 72.
[37] KIM J, LEE S. Forecasting and identifying multi-technology convergence based on patent data: the case of IT and BT industries in 2020[J]. Scientometrics,2017, 111(1): 47 – 65.
[38] AN J, KIM K, Mortara L, et al. Deriving technology intelligence from patents: preposition-based semantic analysis[J]. Journal of informetrics,2018, 12(1): 217 – 236.
[39] AN X, LI J, XU S, et al. An improved patent similarity measurement based on entities and semantic relations[J]. Journal of informetrics,2021, 15(2):1 – 16.
[40] SMALL H, BOYACK K W, KLAVANS R. Identifying emerging topics in science and technology[J]. Research policy,2014, 43(8): 1450 – 1467.
[41] BREITZMAN A, THOMAS P. The emerging clusters model: a tool for identifying emerging technologies across multiple patent systems [J]. Research policy, 2015, 44(1): 195 – 205.
[42] PELAZ B, ALEXIOU C, ALVAREZ-PUEBLA R A, et al. Diverse applications of nanomedicine[J]. ACS nano, 2017, 11(3):2313 – 2381.

作者贡献说明:

李昌:研究思路设计,数据分析,论文撰写;
周锦锦:部分论文撰写,论文修改与校对;
杨中楷:研究思路设计与改进。

李昌，周锦锦，杨中楷.动态演化过程视角下技术融合生长点识别研究[J].图书情报工作,2022,66(7):99－109.

Research on the Identification of Technology Fusion Growth Points from the Perspective of Dynamic Evolution Process

Li Chang[1] Zhou Jinjin[2] Yang Zhongkai[1]

[1] Faculty of Humanities and Social Sciences, Dalian University of Technology, Dalian 116024

[2] College of Economics and Management, Northeast Agricultural University, Harbin 150006

Abstract: [**Purpose/Significance**] This paper proposes a new method to identify the growth points of technology fusion from the perspective of the dynamic evolution process of technology, aiming to identify the technology fusion fields with growth potential. [**Method/Process**] First, the study proposed two stages in the evolution path, summarized the evolution path of the technological fusion growth points, and summarized significant attribute characteristics according to the characteristics of the technological fusion growth points, and constructed an index system for recognition. Finally, calculating the changes of attributes on the evolution path realizes the identification of the technological fusion growth points. [**Result/Conclusion**] Through experiments and comparisons with existing studies, this method can effectively identify the growth points of technology fusion, and trace the origin and process of technology.

Keywords: technology fusion growth point　dynamic evolution process　attribute characteristics　nanomedicine

《图书情报工作》杂志社发布出版伦理声明

为加强和增进学术论文写作、评审和编辑过程中的学术规范、科研诚信与学术道德建设，树立良好学风，弘扬科学精神，坚决抵制学术不端，建立和维护公平、公正、公开的学术交流生态环境，《图书情报工作》杂志社（包括《图书情报工作》《知识管理论坛》两个期刊编辑部）结合两刊实际，特制订出版伦理声明并于 2020 年 2 月正式发布。

该出版伦理声明承诺两刊将严格遵守并执行国家有关学术道德和编辑出版相关政策与法规，规范作者、同行评议专家、期刊编辑等在编辑出版全流程中的行为，并接受学术界和全社会的监督。共包括三大部分，总计十五条，分别为：一、作者的出版伦理（①学术论文是科学研究的重要组成部分；②学术不端是学术论文的毒瘤；③作者是学术论文的主要贡献者；④ 作者署名体现作者的知识产权与学术贡献；⑤学术论文要高度重视知识产权与信息安全；⑥参考文献的规范性引用是学术规范的重要表征；⑦要高度重视研究数据与管理的规范性；⑧建立纠错与学术自我净化机制）。二、同行评议专家的出版伦理（⑨同行评议是论文质量的重要控制机制；⑩评审专家应遵守论文评审的相关要求；⑪评审专家要严格遵循相关的伦理指南和行为准则）。三、编辑的出版伦理（⑫编辑应成为学术论文质量的守护者；⑬编辑应在学术道德建设中发挥监控作用；⑭编辑要成为遏制学术不端的最后屏障；⑮对学术不端实行“零容忍”）。

全文请见：http://www.lis.ac.cn/CN/column/column291.shtml

（本刊讯）